

Оцінка швидкості охолодження розплавів на основі кольорових металів

А. М. Верховлюк, доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
vam@ptima.kiev.ua

В. Л. Лахненко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
lakhnenko@ptima.kiev.ua

Р. В. Петровський, аспірант

І. Ф. Червоний, доктор технічних наук, професор

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Представлено методика дослідження швидкості охолодження розплаву на прикладі сплаву системи Cu – Zn.

Ключові слова: криві охолодження, сплав, лиття, кристалізація, технологія.

В різних галузях промисловості широко використовується продукція зі сплавів на основі міді. Вони володіють високою електро- і теплопровідністю, відносно високою межею міцності, пластичністю, пружністю, жаростійкістю та корозійною стійкістю [1 – 5].

В основному продукцію з мідних сплавів отримують за технологією, яка включає одержання виливків великого перерізу, їх різання на мірні заготовки, пресування або прокатку литих заготовок, волочіння пресованої або катаної заготовки. При одержанні напівфабрикатів з мідних сплавів за традиційною технологією на всіх переділах спостерігаються значні втрати металу, що зумовлює низький вихід придатної продукції. Як правило, ці сплави містять у своєму складі компоненти, які легко окислюються і випаровуються (магній, кадмій, берилій, цинк, хром, цирконій).

Розливання лагуней, нейзильберу і берилієвої бронзи методами вертикального безперервного або напівбезперервного лиття пов'язано з додатковими витратами легуючих елементів через окислення і випаровування компонентів сплавів з поверхні рідкого металу в кристалізаторі. Виникають внутрішні дефекти у вигляді неметалевих включень, зокрема оксидів легуючих елементів, що приводить до зниження технологічності виливків при подальшій обробці тиском.

Для усунення проявів ліквациї компонентів, а також для підвищення технологічності сплавів при подальшій деформації доцільно підвищити швидкість кристалізації литих заготовок, що може бути досягнуто, зокрема, шляхом зменшення діаметра заготовок. Одним із способів одержання заготовок малого перерізу є горизонтальне безперервне лиття. Такий спосіб лиття заготовок забезпечує не тільки високу швидкість кристалізації, але і дозволяє знизити вигорання легуючих елементів і ймовірність утворення

неметалевих включень. Перевага горизонтального безперервного лиття забезпечується завдяки тому, що при такій технології метал в кристалізаторі не контактує з навколишнім середовищем, оскільки плавка і лиття здійснюються з одного плавильного агрегату. За допомогою регульованої швидкості охолодження можна контролювати склад та розмір зерна в структурі сплавів. Також від цієї характеристики суттєво залежить фазовий ступінь нерівноважності матеріалів.

Виходячи з цього визначення швидкості охолодження розплаву при кристалізації здійснювали шляхом запису і подальшої обробки кривих охолодження згідно схеми, наведеної на рис. 1 [6]. Для забезпечення різної швидкості охолодження при виготовленні зразків застосовували форми з різних матеріалів (кварцове скло загорнуте в теплоізоляційну каолінову вату, фторфлогопіт, чавун, графіт), які встановлювали на спеціальній платформі (рис. 2). При цьому також варіювали діаметр та довжину (діаметр \times довжина) зразків ($\varnothing 20 \times 100$, $\varnothing 10 \times 100$, $\varnothing 20 \times 65$, $\varnothing 20 \times 45$). Температурні криві охолодження фіксували хромель-алюмель термопарами.

За допомогою спеціального пристрою (аналого-цифрового перетворювача WAD AIK BUS) показники термопар у цифровому вигляді з частотою 8 Гц передавалися на комп'ютер для їх подальшої обробки. Можливості аналого-цифрового перетворювача дозволяють одночасний запис до чотирьох кривих охолодження.

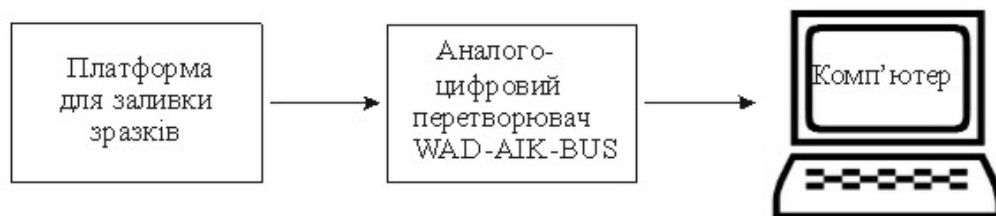


Рис. 1. Функціональна схема установки для визначення швидкості охолодження сплавів.

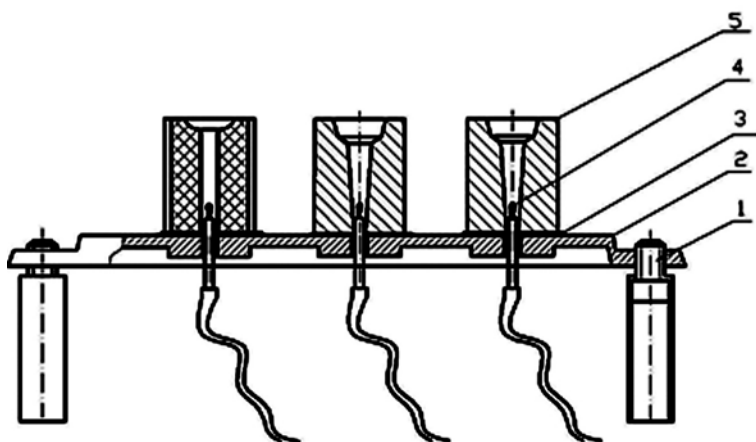


Рис. 2. Платформа для одержання зразків дослідних сплавів з різною швидкістю охолодження під час кристалізації (1 – болти для горизонтування плити; 2 – плита для розташування форм; 3 – теплоізоляційна підкладка; 4 – термопара; 5 – форма).

Для прикладу на рис. 3 наведено криві охолодження латуні (Cu – Zn). Вставка в рисунку показує початковий момент охолодження і підтверджує різну зміну температури в часі.

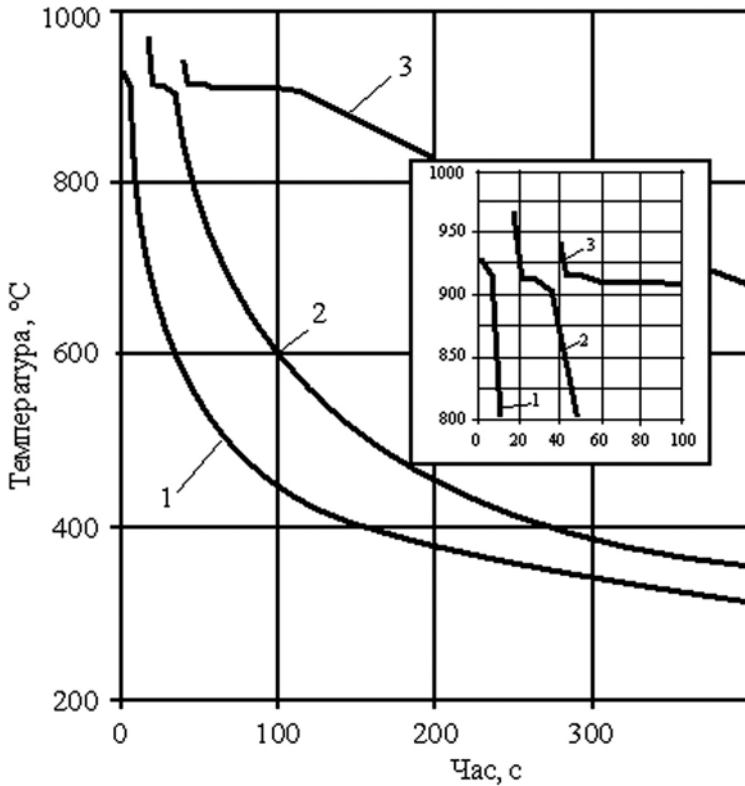


Рис. 3. Криві охолодження сплаву Cu-Zn, залитого у форми з різного матеріалу (1 – графітова форма; 2 – фторфлогопітова форма; 3 – кварцове скло загорнуте в теплоізоляційну каолінову вату).

Використання одержаної залежності для безпосереднього визначення швидкості охолодження сплаву є некоректним, тому що вона показує фактичну динаміку зміни температури металу, але не інтенсивність його охолодження. На температуру металу впливає не тільки відведення тепла формою, але і теплові ефекти фазових перетворень, що супроводжують процес охолодження сплаву. Найбільш помітним серед них є виділення тепла при кристалізації сплаву, яке деякий час може повністю компенсувати тепло, що відводиться формою, забезпечуючи металу постійну температуру (так звані «полочки» на кривих охолодження), а у випадках, коли має місце явище переохолодження, навіть перевищувати тепло, що відбирається формою, що призводить до рекалесценції. Відповідно, на кривих динаміки охолодження сплаву на ділянках, що відповідають «полочці», спостерігаються нульові значення швидкості охолодження сплаву, а на ділянках, що відповідають рекалесценції – від’ємні значення. Зрозуміло, що на таких ділянках фактична зміна температури металу не характеризує охолоджувальну здатність форми.

Отже, для виявлення фактичної здатності форми до відбору тепла від сплаву на різних етапах його охолодження одержанні розраховані дані, що потребують подальшої обробки – вилучення ділянок впливу теплоти кристалізації та узагальнення.

Як видно з рис. 3, дані щодо охолодження сплаву графітовою, фторфлогопітовою та кварцовою в каоліновій ваті формами, добре описуються поліномом третього порядку. Рівняння поліномів для:

– графітової форми - температурний діапазон від 300 до 900 °С);

$$V_{\text{охол.}} = 9,8709 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - 7,5375 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 2,0785 \cdot 10^{-2} \cdot t - 1,9217$$

– фторфлогопітової форми - температурний діапазон від 400 до 900 °С);

$$V_{\text{охол.}} = -8,9865 \cdot 10^{-9} \cdot t^3 + 3,6838 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1,9569 \cdot 10^{-2} \cdot t + 2,9622$$

– кварцового скла, яке загорнуте в теплоізоляційну каолінову вату - температурний діапазон від 600 до 900 °С).

$$V_{\text{охол.}} = -1,3838 \cdot 10^{-9} \cdot t^3 + 4,1776 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 2,0704 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0,5197$$

Таким чином узагальнені залежності можна використовувати для визначення швидкості охолодження сплаву у будь-який момент. Оскільки ми розглядаємо швидкість охолодження як чинник впливу на структуру сплаву, то найбільш важливим є визначення швидкості охолодження сплаву саме в період формування його литої структури, тобто, під час кристалізації.

Література

1. Сучков Д. И. Медь и ее сплавы – М.: Металлургия, 1966. – 248 с.
2. Смирязин А. П., Смирязина Н. В., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. Справочник. – М.: Металлургия, 1974. – 488 с.
3. Тихонов Б. С. Тяжелые цветные металлы и сплавы. Справочник. – М.: ЦНИИЭИцветмет, 1999. – 452 с.
4. Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки. Справочник – М.: Машиностроение, 2004. – 336 с.
5. Розенберг В. М., Данелия Е. П., Иедлинская З. М., Николаев А. К. Сплавы на медной основе, упрочняемые дисперсными частицами. Научные исследования в области сплавов и обработки цветных металлов. – М.: Металлургия, 1986. – С. 53 – 65.
6. Верховлюк А. М., Лахненко В. Л., Науменко М. И., Кияев Р. С. Влияние скорости охлаждения на эффективность модифицирования Al-сплавов // Литейное производство. – 2012 . – № 9. – С. 5 – 6.

References

1. Suchkov D. I. *Med i ee splavy* (Copper and its alloys), Moskva: Metallurgiya, 1966, 248 p. [in Russian].
2. Smiryagin A. P., Smiryagina N.V , Belova A. V. *Promyshlennyye tsvetnye metally i splavy. Spravochnik* (Manufacturing non-ferrous metals and alloys), Moskva: Metallurgiya, 1974, 488 p. [in Russian].
3. Tihonov B. S. *Tyazhelye tsvetnye metally i splavy. Spravochnik* (Heavy non-ferrous metals and alloys), Moskva: TsNIEItsvetmet, 1999, 452 p. [in Russian].
4. Osintsev O. E., Fedorov V. N. *Med i mednyie splavy. Otechestvennyie i zarubezhnyie marki. Spravochnik.* (Copper and copper alloys. Domestic and foreign brands), Moskva: Mashinostroenie, 2004, 336 p. [in Russian].
5. Rozenberg V. M., Daneliya E. P., Iedlinskaya Z. M., Nikolaev A. K. In: « *Splavy na mednoy osnove, uprochnyaemye dispersnyimi chastitsami*» (Alloys on a copper basis, strengthened by dispersed particles), Moskva: Metallurgiya, 1986, pp. 53 – 65. [in Russian].
6. Verhovliuk A. M., Lahnenko V. L., Naumenko M. I., Kiyayev R. S. *Liteynoe proizvodstvo*, 2012, No 9, pp. 5 – 6 [in Russian].

Одержано 14.11.18

А. М. Верховлюк, В. Л. Лахненко, Р. В. Петровский, И. Ф. Червоный

Оценка скорости охлаждения расплавов на основе цветных металлов

Резюме

Представлена методика исследования скорости охлаждения расплава на примере сплава системы Cu – Zn.

Ключевые слова: кривые охлаждения, сплав, литье, кристаллизация, технология.

A. M. Verkhovliuk, V. L. Lachnenko, R. V. Petrovsky, I. F. Chervony

Estimate of cooling rate of melts based on non-ferrous metals

Summary

The method of studying the rate of cooling of the melt on the example of a Cu – Zn alloy is presented.

Keywords: cooling curves, alloy, casting, crystallization, technology.